

## 隕石による地球型惑星の形成及び進化過程の解明

## 研究目的:

セールロンダーネ山地南方のナンセン氷原において隕石探査を実施する。第29次隊による隕石探査から20年以上経過し、その間に氷中から出現した新たな隕石の発見が期待できる。どのくらいの数の隕石を発見できるかにより、隕石集積地としてやまと山脈との比較検討ができる。

## 実績・成果:

第 VII 期の最終年に当たる 2009 年の夏シーズンに、地質、地形グループとともに、セールロンダーネ地学調査の一環として、隕石探査を計画し、実施した。

隕石探査は当初の計画どおり、ベルギーとの国際共同調査として行なうことができた。日本隊が、隕石探査を主導し、ベルギーからは研究者を含め 2 名が参加した他、雪上車、橇の提供といった設営的な強力なサポートを得て実施した。安全を重視して、地質、地形グループとの共同調査として実施したため、「しらせ」から出発して帰還するまでの期間は計画どおり約 40 日であった。

バルヒェンをフィールドとした隕石探査は、現地滞在約 3 週間のうち、悪天候で、隕石探査ができた日は更に少なかったが、計画していた裸氷域のうち、調査中にフィールドで探査の必要がないと判断して、探査を行なわなかった場所を除いて、ほとんどの裸氷域を調査できた。その結果 635 個の隕石を採集することに成功した。出発前に、想定した隕石数は 300 から 500 個であったので、100% 以上の成果といえる。また、ベルギーとの国際調査も成功したと評価できる。その結果として、ベルギーの隕石研究者の育成に貢献できる。また、2010 年には外国共同観測の枠組みで、ベルギーとの 2 年目の国際共同調査に結びつき、200 個を超える隕石の採集に成功した。持ち帰られた 635 個の隕石は計量などの初期処理を終え、現在分類を進めている。

ベルギーとの共同研究を進めるとともに、極地研は世界の隕石キュレーション拠点の一つとして、全世界の隕石研究者にこれらの隕石を研究試料として提供して行く予定である。



図 1: 裸氷上での隕石の発見



図 2: ユレーライト

<b>観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか：</b>
<input checked="" type="checkbox"/> 計画以上あるいは、完璧に近い観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> 計画通りの観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> 計画が不備であったため、観測の実績・成果が不十分であった。 <input type="checkbox"/> 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。
<b>上記の判断をした理由</b>
出発前にこれまでの実績から想定していた300個から500個の隕石数を大きく上回る635個の隕石採集に成功している。この中には鉄隕石やユレーライトなど希少な隕石が含まれる。

<b>研究目的をどの程度達成したか：</b>
635個の隕石の採集に成功し、当初の目的は100%以上達成した。個々の隕石の研究はベルギーとの共同研究のほか、世界の研究者の間でこれから進められる。

<b>国際共同観測にどの程度貢献したか：</b>
ベルギーとの共同観測として探査が成功し、ベルギーの南極における隕石探査の育成に大きく貢献した。

<b>他の研究にどの程度影響を与えているか：</b>
今回採集された隕石は世界でほかに存在せず、国際共同観測計画のなかでも、独自の貢献ができる。ただし、個々の隕石の研究について、今後最低数年～5年程度の注視を要する。

<b>この成果に関係する主要な論文：</b>
第 VII 期の最後の隊のため、まだ論文はありません。
<b>著書、冊子、その他の刊行物</b>
・小島秀康 (2011) 南極で隕石をさがす, 188p, 成山堂 口頭発表、ポスター発表等
・Kaiden, H., Kojima H., Goderis, S., Collection of the Asuka 09 meteorites by the 51st Japanese Antarctic Research Expedition: A preliminary report, The 33rd Symposium on Antarctic Meteorites, Tokyo, June 8-9, 2010.
・Kaiden, H., Kojima H., Goderis, S., Meteorite search in Antarctica by the 51st Japanese Antarctic Research Expedition in the 2009-2010 field season, The 73rd Annual Meeting of the Meteoritical Society, New York, July 26-30, 2010.
・海田博司, 小島秀康, Goderis Steven, 第 51 次日本南極地域観測隊による「あすか 09 隕石」の発見と採集, 日本鉱物科学会 2010 年度年会, 島根大学, 9 月 23 日-25 日, 2010 年.

一般プロジェクト研究観測 P-5

研究代表者: 本吉洋一

## 超大陸の成長・分裂機構とマンツルの進化過程の解明

### 研究目的:

固体地球物理学及び地質学的手法を用いて、東ドロンニングモードランドを中心に、大陸及び海洋地殻の形成発達過程とマンツルの進化過程の解明研究を推進する。固体地球物理学の観測としては、南極大陸全域に広帯域地震計を展開する国際計画が進められており、その一部として、東ドロンニングモードランドの大陸縁辺部周辺での広帯域地震計の無人観測点を展開する。

地質学的研究としては、東西ゴンドワナの会合部とされる東ドロンニングモードランド一帯を調査対象地域とし、10億及び5億年前の超大陸の形成に関わる変動の履歴と要因を解明する調査・研究を進める。ベルギーやドイツとの国際共同観測の可能性を検討し、また航空機等を用いた効率的な調査も目指す。さらに、後継船就航後は、マルチビーム音響測深器による詳細な海底地形データを、大陸・海洋地殻の進化過程解明の基礎データとして活用する。

本計画は、IPY 2007-2008へ日本が提案した計画 Gondwana Evolution and Dispersal: A perspective from Antarctica (IDNo.395)及び Developing Plans for Antarctic Seismic Deployments: 'Antarctic Arrays' -For Broadband Seismology on Ice-Covered Continent (IDNo.399)の一部であり、後者は国際的には、Polar Earth Observing Network (POLENET: No.ID234)や A Broadband Seismic Experiment to Image the Lithosphere beneath the Gamburtsev Mountains, East Antarctica (GAMSEIS)の計画の下にある。

### 実績・成果:

#### ●地球物理学的研究

国際極年IPYにおいて、南極大陸全域に地震計を増強する計画 (POLER observation NETWORK; POLENET) が世界中の関連研究者により組織的に進められた。また、東南極内陸部のコア・プロジェクトとして、氷床下のガンブルツェフ山脈 (南極の最高地点ドームA周辺) を中心とする総合地球物理学的調査計画 (Antarctica's Gamburtsev Province; AGAP) が、我が国を含む関連9カ国により実施された。AGAPの主パートであるガンブルツェフ自然地震観測計画 (GAMSEIS) では、内陸部の広範囲な領域に広帯域地震計を数十点展開し、西南極の観測点と共にPOLENETの一部としても貢献した。リュツォ・ホルム湾〜ドームF周辺を中心とする本観測研究は、POLENET及びAGAPの一部としてJARE、及びUSAPの観測体制下で実施し、積極的なデータ取得公開及び解析を行い両プログラムに多大に貢献した。JARE、AGAP共に当初の予定通りの観測オペレーション、並びにデータ取得ができた。取得データから、リソスフェア構造やガンブルツェフ山脈の隆起メカニズム、ゴンドワナ超大陸形成やマンツルの進化過程、氷床下の基盤地形、地質構造等の解明がなされた。POLENET全域のデータからは、昭和基地を含む既存のグローバル観測網を補い、南極プレート構造研究の空間分解能を上げ、かつ地球深部不均質や氷床流動・地殻変動・地震活動について重点的に研究が行われた。共同研究者を中心にガンブルツェフ〜ドームF領域の地殻構造をはじめ、国際的連携による研究成果を多数発表した。また、温暖化に伴う諸現象解明に向け、固体地球と大気・氷床・海洋との物理的相互作用で生じる波動伝播現象を捉え

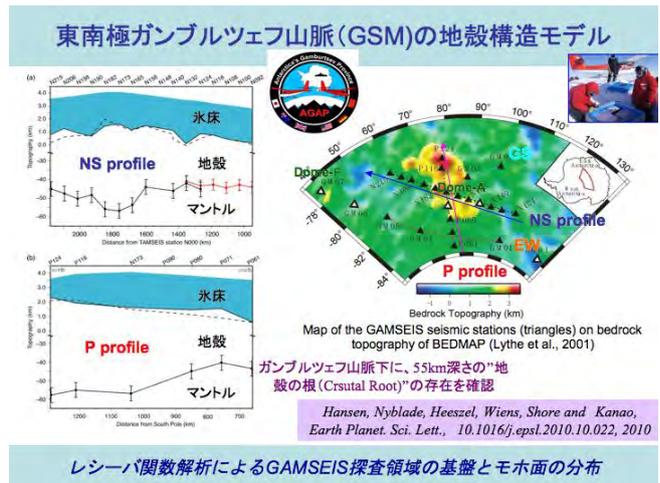


図1. 地震探査によって明らかになったガンブルツェフ山脈周辺の地殻構造モデル。

るため、昭和基地でインフラサウンド観測を開始した。地震計や重力計との比較から、様々な衝撃波、波浪脈動や氷起源の振動、固体地球の常時自由振動など、複数の励起源と周波数帯域を持つ特徴的な波動が観測された。このように南極を中心としたIPYデータを元に、極域の地球内部構造や地震・氷震活動、ジオダイナミクス、波動伝播モデリング等が本研究により進展した。ポストIPYにおけるPAntOS, SERCE/SCARとの連携、またFDSNやCTBT等のグローバル観測網における極域の重要性についても、改めて再認識ができた。

### ●地質学的研究

実績：初年次(49次)ではセールロンダーネ山地中央部、2年次(50次)では西部、3年次(51次)では中央部から東部を対象として、現地野外地質調査と岩石試料の採取をおこなった。最新のグローバルな地質フレームワークのもとで、3か年で四国ほどの広さのセールロンダーネ山地の山塊全域の地質状況の再整理をおこなうための精密調査と試料採取という当初計画をほぼ達成した。

成果：過去26次～32次でこの地域全域の地質概略が明らかにされた。49次～51次の3か年では、そうした基礎データに基づいて、この地域の変成作用のプロセス、火成活動、構造運動、流体活動、またそれらに年代軸を入れる放射年代測定といった、詳細な解析をおこなうための現地野外データと解析用岩石試料の採取がなされた。その初期解析結果として、この地域の中央部はAタイプ、Bタイプ、Lタイプの3つの地域に区分されること、主変成作用の時期が約6億5千万年前であること、一部では超高温変成条件が得られること、新鉱物の発見、火成活動の特徴とそのテクトニックセッティングの初期考察、などが得られた。現在、持ち帰った岩石試料の解析が継続中である。なお、帰国後の解析によって、50次隊による新鉱物(マグネシオヘグボマイト)の発見が明らかとなった。

### ●海底地形データ

新「しらせ」に搭載されたマルチナロービームを用いて、氷海域における海底地形測量を実施した。氷海域内において、良好なデータが取得できることを実証した。この手法により、これまでデータの乏しかった南極氷海域での新知見が今後期待できる。

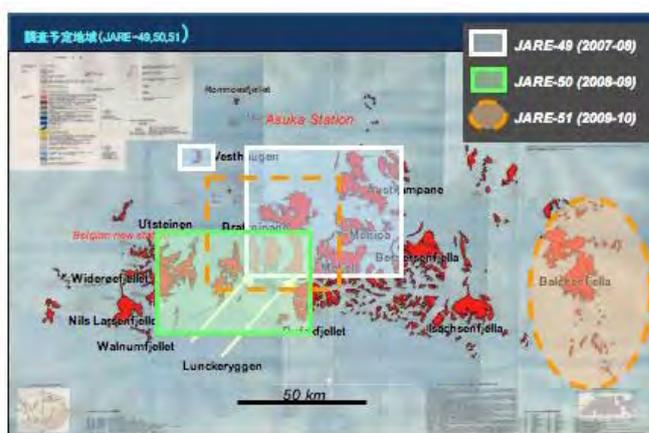


図2. 第49～51次観測によって計画・実施されたセール・ロンダーネ山地の調査地域。

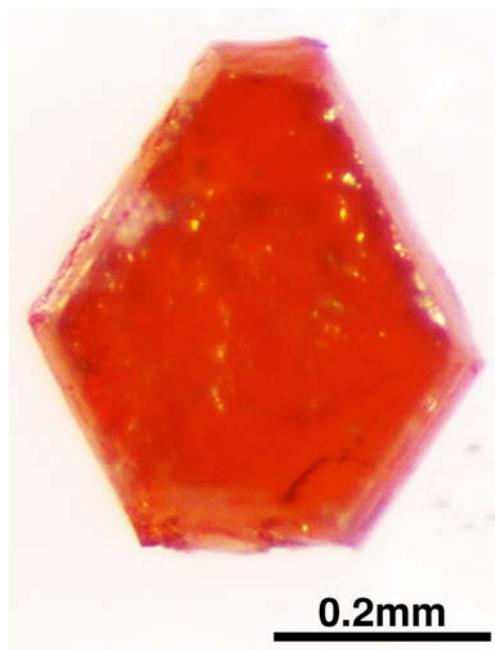


図3. セール・ロンダーネ山地から発見された新鉱物マグネシオヘグボマイト。

<b>観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか:</b>
<input type="checkbox"/> 計画以上あるいは、完璧に近い観測の実績・成果を得た。 <input checked="" type="checkbox"/> 計画通りの観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> 計画が不備であったため、観測の実績・成果が不十分であった。 <input type="checkbox"/> 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。
<b>上記の判断をした理由</b>
いずれのプロジェクトも航空機を多用し、オペレーション上は難しい場面もあったが、目標を達成できた。

<b>研究目的をどの程度達成したか:</b>
天候状況により多少影響は受けたが、当初計画はほぼ達成できた。また、当初は予想していなかった新鉱物の発見があったことは特筆に値する。

<b>国際共同観測にどの程度貢献したか:</b>
<p>地球物理観測は、実質的に日米共同研究の一環として実施された。日本の観測チームがアメリカ隊 (United States Antarctic Program; 以下USAP) に2008-2009 (交換科学者) と2009-2010 (外国共同研究) の2シーズン参加し、ドームふじ基地周辺を含む東南極内陸部の広範囲の境域で観測した。各シーズン共に、マクマード基地とアムンセン・スコット南極点基地を經由し、内陸前進拠点AGAP-S (84° S, 77° E, 標高3,500m) に約1ヶ月滞在し、アメリカの観測点計24点の設置と共に、調査領域の最西部にあたるドームふじ基地 (77° S, 40° E, 標高3,800m) とその周辺に、我が国の観測点を設置しデータ取得した。本計画AGAP (IPY #147) によるドーム域における臨時観測網は、昭和基地を含む既存のグローバル網を補い、南極プレートの地震波速度構造などの空間分解能を上げると共に、地球深部や氷床内部・氷床下湖・地殻構造・自然地震・氷河地震を調べる基礎資料を提供する。また、日本南極地域観測隊による取得データと合わせた広域研究が期待される。</p> <p>地質学的研究は、主にベルギー隊の強力を得て実施された。セール・ロンダーネ山地西部に基地建設中のベルギー隊とは、計画立案段階から相互協力の相談をすすめ、現地においても日本からの物資提供やベルギーからの輸送協力などをおこなった。また、南アフリカからの交換科学者を受け入れ、南極と南～東アフリカとの地質対比を念頭に置いた共同研究を推進している。</p>

<b>他の研究にどの程度影響を与えているか:</b>
第VII期の地球物理学ならびに地質学的調査の特色として、DROMLANを主体とする航空機を使ってのアクセスならびに観測があげられる。今後の日本隊の調査形態に大きな足跡を残したと言える。セール・ロンダーネ山地の変成作用や構造運動、さらにはテクトニクスに新たな解釈がなされたことで、今後の南極や Gondwana の地質学に大きな影響を与えるだろう。

<b>この成果に関係する主要な論文:</b>
<p>◆学位論文  Adachi, T. (2010): Metamorphic evolution and its implication for tectonic process in the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica. Ph.D thesis submitted to the Graduate University for Advanced Studies, 264p.</p> <p>◆原著論文  Shimura, T., Akai, J., Lazic, B., Armbruster, T., Shimizu, M., Kamei, A., Tsukada, K., Owada, M. and Yuhara, M. (2011): Magnesiöhögbomite-2M4S a new polysome from the central Sør Rondane Mountains, East Antarctica. Amer. Miner. (submitted).  Shimura, T., Akai, J., Lazic, B., Armbruster, T., Shimizu, M., Kamei, A., Tsukada, K., Owada, M., Yuhara, M. (2011): Magnesiöhögbomite-2M4S. IMA2010-084. CNMNC Newsletter, Mineralogical Magazine (in press).  Nakano, N., Osanai, Y., Baba, S., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T. (2011) Inferred ultrahigh-temperature</p>

metamorphism of amphibolitized olivine granulite from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *Polar Science*, in press.

Owada, M., Shimura, T., Yuhara, M., Kamei, A. and Tsukada, M. (2010): Post-kinematic lamprophyre from the southwestern part of Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Constraint on the Pan-African suture event. *Jour. Miner. Petr. Sci.*, 105, 262–267.

Baba, S., Hokada, T., Kaiden, H., Dunkley, D.J., Owada, M., Shiraishi, K. (2010): SHRIMP zircon U–Pb dating of sapphirine-bearing granulite and biotite–hornblende gneiss in the Schirmacher Hills, East Antarctica: Implications for Neoproterozoic ultrahigh-temperature metamorphism predating the assembly of Gondwana, *Journal of Geology*, 118, 621–639.

Kawakami, T. and Hokada, T. (2010): Linking P–T path with development of discontinuous phosphorus zoning in garnet during high-temperature metamorphism – an example from Lützow–Holm Complex, East Antarctica, *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 105, 175–186.

Adachi, T., Hokada, T., Osanai, Y., Toyoshima, T., Baba, S. and Nakano, N. (2010): Titanium behavior in quartz during retrograde hydration: occurrence of rutile exsolution and implications for metamorphic processes in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica, *Polar Science*, 3, 222–234.

Kanao, M., Usui, Y., Inoue, T. and Yamada, A., 2011, Broadband seismic deployments for imaging the upper mantle structure in the Lützow–Holm Bay region, East Antarctica, (in press) *Inter. J. Geophys.*, 査読有.

概要:リュツォ・ホルム湾周辺域の野外に展開した広帯域地震計データを用いた遠地地震波の解析により、当該地域の上部マントルの不均質構造のイメージングを行った。長周期レシーバ関数解析による上部マントル速度不均質と410.660km不連続面の形状分布、並びにSKS波の異方性解析によりリソスフェアとアセノスフェアの過去～現在の流動場とテクトニクスの関係について詳細に調べた。

Kanao, M., A. Fujiwara, H. Miyamachi, S. Toda, M. Tomura, K. Ito and T. Ikawa, 2010, Reflection imaging of the crust and the lithospheric mantle in the Lützow–Holm Complex, Eastern Dronning Maud Land, Antarctica, derived from the SEAL Transects, *Tectonophysics*, 査読有, doi:10.1016/j.tecto.2010.08.005.

概要:リュツォ・ホルム岩体のみずほ高原で行った深部地震探査(SEAL-2000,-2002)データの反射法処理の精密解析により、当該地域の地殻～上部マントルの地震学的反射構造を求めた。得られた2測線の結果から、リュツォ・ホルム岩体の形成過程・テクトニクスについて他の地球物理・地質学的データと比較し考察した。

Hansen, S., A. Nyblade, D. Heeszel, D. Wiens, P. Shore and M. Kanao, 2010, Crustal Structure of the Gamburtsev Mountains, East Antarctica, from S-wave Receiver Functions and Rayleigh Wave Phase Velocities, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 査読有, 10.1016/j.epsl.2010.10.022.

概要:国際極年IPYで行った日米国際共同研究(AGAP/GAMSEIS; IPY No. 147)により得られた遠地地震データを用いて、東南極内陸部ドーム域の広範囲の地殻構造をレシーバ関数と表面波の同時解析により求めた。特にドームA直下のカンブルツェフ山脈下では55km以上の厚い地殻が得られ、パン・アフリカン等のかつての造山運動による「地殻の根(crustal root)」の存在が示唆された。

## 極域環境下におけるヒトの医学・生理学的研究

## 観測の目的:

南極大陸の特殊な環境下で観測・設営等の活動を安全かつ確実に遂行するためには、南極の環境下におけるヒトの生理学的な反応や心理学的な応答に対する基本的な理解が必要である。このため、寒冷・日リズム変化、骨代謝測定、越冬時のエネルギー消費量の解析、衛生学的調査、生体の生理的・病的及び精神的な影響等について研究を行う。また、オゾンホールに起因すると考えられる紫外線照射量の増加が、ヒトや現地の動植物に与える影響についても研究を行う。

## 実績・成果:

第 VI 期からデータを蓄積して解析するために継続しているサブテーマとして、1)レジオネラ調査、2)越冬隊員の心理調査、を実施した。1)では昭和基地建物内および屋外、さらには「しらせ」船内から試料を採取し、分析した。2)では第 49 次隊までの 2 年次にわたる調査結果を解析し、帰国後の「社会復帰」の過程で隊員のストレスを緩和するのに資すると思われる対応について提案等がなされたほか、心理状態の変化をより明瞭に把握し得るアンケート実施時期・回数等に変更する調査方法の改善がなされた。これにより、今後の調査でより焦点を絞った解析が見込まれる。

第 VII 期後半の第 50・51 次隊では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙医学生物学研究室と共同で、「南極と宇宙に共通する極限環境下での健康管理に関する」研究を実施した。内容としては簡易脳波計、心電計、活動量計を用いた日リズム研究、皮膚の衛生に関する研究、ハイブリッドトレーニング、毛髪によるヒトの生理状態把握の基礎研究が実施された。越冬中の調査から、測定機材の改善点、装着時の工夫等、将来の宇宙での医学研究に資するフィードバックを得た。現在もデータ解析が進められ、学会等での発表・論文投稿に向けてとりまとめが行われている。

また国立健康・栄養研究所との共同研究、「南極越冬隊員の生活習慣と健康状態との関連に関する予備的研究」を第 50 次隊から開始した。調理部門による越冬中の画像による食事の記録、および年 4 回の 1 週間ずつの食材量調査と連動して、ボランティア隊員の摂食調査記録、活動量計の記録等の調査を実施した。食事の栄養バランスやカロリー量に対して、隊員の摂取栄養バランス、カロリー量データが得られ、現況を記録するデータが得られ、一定の解析、提案がなされている。今後データの蓄積を進め、隊員の健康に資する提案につなげていく予定である。



JAXA との共同研究のサブテーマの一つ、「ハイブリッドトレーニング効果の向上に関する研究」の昭和基地での実施状況。ハイブリッド電気刺激を用いた筋屈伸訓練装置による体力維持効果を検証し、遠隔地使用における運用の問題点を明らかにした。



国立健康・栄養研究所との共同研究、「食事と健康の調査」で調査を実施した日の昼食の例(2009年2月27日)。

以上の実績、成果は国立極地研究所の研究集会等共同研究の枠組みで報告・発表し、毎年現地で医学研究を実施する隊員らと情報共有を行いフィードバックを行った。また、同様の医学研究を行っている中国、インド、韓国の医師を招へいし、研究集会の場で情報交換を進めたほか、SCAR Open Science Conference などの国際的な研究集会でも積極的に発表し、外国の研究者と意見交換を行った。

なお、紫外線による人体の影響について調査を計画していたが、別の課題により牛の角膜等を用いた調査がなされ、本課題では実施しなかった。



2009年2月27日の1日に提供された一人分の食事の総カロリー量、栄養バランス等を解析し、越冬中に第50次隊へ送った結果。

#### 観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか:

- 計画通りの観測の実績・成果を得た。
- ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。
- 機器の不良等があったため、観測の実績・成果が不十分であった。
- 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。

#### 上記の判断をした理由

JAXAとの共同研究では、使用した測定器に十分な使用実績の無いものがあり、また南極特有の使用環境(乾燥した室内のため静電気が発生して電極による信号入力が正常に行われ難い)のせいで、現地での調査開始期間には担当隊員には大きな負担をかけ、部分的にデータ欠損を生じた。その分測器の改善提案につながる結果となった。国立健康・栄養研究所との共同研究では、摂食調査での記録の取り方の検討が必ずしも充分でなく、現地で試行錯誤しながら実用的な方法を見出す結果となった。

それ以外については従来の方法により円滑にデータ、資料を得ることができた。

#### データ公開の状況:

JAXAとの共同研究および摂食調査等、隊員の協力により得たデータについては個人情報、プライバシーに関わるため解析担当者以外には開示されていない。(摂食調査の基礎データとしての献立の画像記録は、所内のデータサーバー内に保管され、調理担当隊員等が所内で利用可能な状況にある)

#### 観測によって得られたデータ等により国際的にどの程度貢献できたのか

南極研究科学委員会(SCAR)の専門家グループ、ヒトの医学研究グループ(EG-HBM)および、南極観測実施責任者評議会(COMNAP)の旧医学・医療ネットワーク(MEDINET)の会合で、研究成果の発表等を行った。その結果、越冬隊員の心理研究等、各国の南極観測に関係する医師の強い興味を惹き、共通する問題に対する一定の洞察を提供した。

**この成果に関する主要な論文:**

今後成果として出される予定。

**その他特記事項:**

観測隊員の身体的、精神的な健康管理に貢献する情報を提供するとともに、食事の提供等観測隊の運営にとって科学的なバックグラウンドを提供することが長期的に期待できる。

## 南極昭和基地大型大気レーダー計画

## 研究目的:

極域は他の緯度帯に比べて面積が小さく、気候変動の主な内因である大気大循環に関連したシグナルが大きく捉えやすい。また、地球磁力線に沿った太陽風エネルギーの大気への流入は極域で起こるため、気候変動をもたらす主要な外因である太陽活動の影響が顕著に現れる領域でもある。その物理プロセスを理解するためには、太陽活動の影響をうける電離大気から中層/下層大気への影響、各種波動の主要起源をもつ中層/下層大気から電離大気への影響を、定量的に調べる必要がある。この計画では、地球気候変動の監視とメカニズム解明を目的とし、地上から500kmの広範な高度領域を高分解能・高精度で捉える大型大気レーダーの世界に先駆けた南極への設置を検討、開発すると共に、これを用いた大気科学研究の可能性を具体化する。

大型大気レーダーは従来のラジオゾンデや、MFレーダー等と比較して分解能、精度共に格段に優れた観測技術である。しかしながら大きな電力と面積、アンテナ本数が必要である。また、低温、強風という厳しい南極の自然環境に耐える施工や運用方法を考える必要があるほか、限られた物資輸送量・作業日数・作業員も考慮しながら地形など南極の自然環境へ与える影響もできるだけ少ない設置工法をとる必要がある。

前年度までにこのような配慮に基づき、レーダー設置候補地の地勢調査、アンテナ設置工法検討、高効率送信機の開発などを行ってきた。第Ⅶ期計画では、これらの検討を継続し、技術的・設想的な課題を解決する。

## 実績・成果:

計画に基づいて開発と改良を行ったアルミ合金製軽量アンテナと高効率送受信機(従来型の倍以上の電力効率)は、Ⅶ期重点計画中の下部熱圏探査レーダーの送信機及びアンテナとして採用され、大型大気レーダーのパイロットシステムを兼ねて運用された。アンテナについては電気性能試験、耐環境試験、振動センサーによる振動データ取得を行い、またシステム全体として昭和基地既存の電波設備への干渉の有無を確認した。下部熱圏探査レーダーは、南極での空輸トラブルによるパーツ紛失事故などにより、結果的にⅦ期における運用が十分に行えなかったが、大型大気レーダー実現に向けた実証試験を実施することができた。並行してレーダー設置候補地の積雪調査を毎年継続し、設置場所最適化調整を行った。以上のように当初計画通りに多面的な開発・調査・研究を実施できた。

上記のような成果のもと、大型大気レーダー計画は、Ⅶ期の萌芽研究から、Ⅷ期の重点プロジェクト研究の1項目として認められた。そして、本計画はH12年度からの関連国際学術組織や、関連する国内学会、日本学術会議等での議論を経て、H21年度の補正予算において正式に予算化されるにいたった。これを受けてⅦ期最終年度のH21年度において、レーダーシステムの最終設計を行うとともに、現地施工で最も時間がかかるアンテナ基礎設置およびアンテナ組立をできるだけ短期間で行うための最終最適化を行った。51次隊では、Ⅷ期初年度となる52次からの建設に向けた具体的な測量調査とアンテナ最終モデルの現地試験を実施し、Ⅷ期における大型大気レーダー建設と観測の準備を整えることができた。



図1. 本研究で開発された軽量自立式アンテナ



図2. 本研究で開発された高効率送受信機

<b>観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか:</b>
<input type="checkbox"/> 計画以上あるいは、完璧に近い観測の実績・成果を得た。 <input checked="" type="checkbox"/> 計画通りの観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。 <input type="checkbox"/> 計画が不備であったため、観測の実績・成果が不十分であった。 <input type="checkbox"/> 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。
<b>上記の判断をした理由</b>
<p>本萌芽研究でのアンテナ・送受信機の開発、およびⅦ期重点プロジェクト研究での下部熱圏探査レーダーを用いた実証試験により、大型大気レーダー計画はⅧ期の重点プロジェクト研究の1項目として認められ、さらにその後の平成21年度補正予算での採択につながった。また、本萌芽研究によりアンテナ設置工法の最適化がなされていなければ、過去最悪といつてよい52次夏の気象条件のもとでのアンテナ1000本の設置完了は困難だったと考えられる。</p>

<b>研究目的をどの程度達成したか:</b>
<p>南極の過酷な環境下での運用に耐えうるアンテナ・送受信機の開発、および短い夏期間でのレーダー建設を可能にするためのアンテナ設置工法の最適化という所期の目的を十分に達成した。</p>

<b>国際共同観測にどの程度貢献したか:</b>
<p>本萌芽研究により開発されたアンテナ・送受信機を用いた下部熱圏探査レーダー観測は、IPYの1課題として実施された。</p>

<b>他の研究にどの程度影響を与えているか:</b>
<p>前述の通り、本萌芽研究の成果が、Ⅷ期重点プロジェクト、そして大型大気レーダーの予算採択につながった。現在、大型大気レーダー観測とレイリー・共鳴散乱ライダー観測、気球観測等を組み合わせることで初めて可能となる極中間圏雲、極成層圏雲等の新たな研究計画を実施中である。</p>

<b>この成果に関係する主要な論文:</b>
<p>1. 田原志浩, 山中宏治, 原田憲一, 大橋英征, 佐藤 亨, 高調波抑圧形集中定数 90 度ハイブリッド, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J91-C, No.10, pp.489-494, 2008. 【概要】 π 形回路にインダクタやキャパシタを付加して共振回路を構成することにより、所望の高調波帯域に減衰特性をもたせた集中定数 90 度ハイブリッドを提案する。基本波における整合条件と高調波における共振条件から、各集中定数素子の設計式を導出した。VHF 帯において試作した集中定数 90 度ハイブリッドは良好な基本波分配特性と高調波抑圧特性を示し、本回路構成の有用性と設計の妥当性が確認できた。この回路は PANSY 送受信モジュールのために開発され、使用されている。</p> <p>2. K. Sato and M. Yoshiki, Gravity wave generation around the polar vortex in the stratosphere revealed by 3-hourly radiosonde observations at Syowa Station. J. Atmos. Sci., 65, 3719-3735, doi:10.1175/2008JAS2539.1, 2008. 【概要】 2002 年の各季節に南極昭和基地で行われたラジオゾンデ集中観測データを用いて、下部成層圏の重力波特性を調べた。その結果、極夜ジェットの存在する冬季・春季に、ほぼ同じ水平波長を持ち下向き・上向き伝播する慣性重力波のペアが観測された。これらの慣性重力波は、極夜ジェット近傍の高ロスビー数領域における自発的調節過程によって励起され、昭和基地上空に伝播してきた可能性が高いことがわかった。</p>

3. K. Sato, S. Watanabe, Y. Kawatani, Y. Tomikawa, K. Miyazaki, and M. Takahashi,  
On the origins of mesospheric gravity waves.  
Geophys. Res. Lett., 36, L19801, doi:10.1029/2009GL039908, 2009.

**【概要】**

重力波を陽に表現する高解像度気候モデルを用いて、中間圏重力波の励起源と伝播特性を世界で初めて全球にわたって推定した。その結果、夏の亜熱帯、冬の中高緯度対流圏から中間圏ジェットに向かう典型的な重力波伝播経路が存在し、それらが輸送する運動量が中間圏ジェットの減速に寄与することがわかった。これらの重力波の主な励起源は、急峻な山岳、冬の対流圏ジェット、夏のモンスーン域であった。特に冬の重力波の主要な伝播経路は昭和基地上空にあり、PANSYはその観測に適することがわかった。

**その他特記事項:**

大型大気レーダーについての最新情報や報道記事情報は以下にまとめられている。

<http://pansy.eps.s.u-tokyo.ac.jp>

萌芽研究観測 H-2	研究代表者: 神田啓史
------------	-------------

## 極限環境下の生物多様性と環境・遺伝的特性

### 研究目的:

生命の存在を拒む世界とされてきた南極大陸氷床とその影響を受ける周辺地域を、新たな極限環境生態系として統一的に捉えることにより、地球上の生命の存在様式に新しい視点を加える。

この地域には、低温・乾燥・高塩分の地表、極低温・乾燥の氷床表面、高圧・暗黒の氷床下湖等の、地球上に残された未解明の極限環境が集中的に存在する。ここに生きる生物の多様性とその生態、生理、遺伝的特性はほとんど未解明であり、遺伝子解析を中心とした様々な手法を用いて、環境と遺伝的特性の全容を明らかにすることを目指す。また、地球大気の大循環によって南極地域に流入した大気物質は、南極氷床によってトラップされ、数十万年の時間軸に沿って記録されている。微生物を中心とした生物情報を、形態的に、さらには遺伝的に解読することで、地球全体の生物的環境変動を理解するとともに、微生物の進化現象を直接的に捉えることを目標とする。

本計画は、IPY2007-2008 の Microbiological & Ecological Responses to Global Environmental Changes in Polar Regions (MERGE) (ID No.429)として提案されている。

### 実績・成果:

「しらせ」が使えなかったため夏期沿岸観測がほとんど不可能であった50次隊を除き、第48,49,51次隊にて観測を実施した。S16ルート上や向岩、沿岸露岩域と氷床との接触点などにおいて、微生物を目的とした氷床サンプリングを実施した。これに加えて、49次では低温に適応した有用微生物の分離を目的とした低温性魚類、陸上性の微小動物、海洋性棘皮動物のサンプリングを実施した。また極限環境の一つとしての、紫外線強度スペクトルデータを取得した。

ほぼ予定通りに観測を実施でき、貴重なサンプルを得ることができた。微生物を中心とする解析では、培養系の確立に時間がかかるため直接的なデータは未だ出ていないが、IPY-MERGEへ貢献するものとして今後の成果が期待される。



図1. 沿岸氷床域における雪氷サンプリングの様子。コンタミを防ぐため、防寒着の上に白衣を着込んでアイスオーガーを操作する。

### 観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか:

- 計画以上あるいは、完璧に近い観測の実績・成果を得た。
- 計画通りの観測の実績・成果を得た。
- ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。
- 計画が不備であったため、観測の実績・成果が不十分であった。
- 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。

### 上記の判断をした理由

1. 若干の観測計画に変更はあったものの、ほぼ当初計画どおりの観測が実施できた。
2. 培養系の確立に時間を要しているが、今後の成果が期待される。

### 研究目的をどの程度達成したか:

1. 沿岸氷床域の表面雪氷試料を、ほぼ無菌的にサンプリングすることが出来た。また、露岩域の氷床との接点、塩湖周辺などの極端な環境から土壌試料をサンプリングできた。ほぼ研究目的を達成出来たと考えられる。
2. 無菌アイスオーガーを使って予定量のサンプルは得られたが、その後破断した。今後の使用には改良が必要である。

**国際共同観測にどの程度貢献したか:**

1. IPY-MERGEの現場観測の一部として位置づけられ、各国の専門家と共にデータを共有し共同研究を実施している。

**他の研究にどの程度影響を与えているか:**

この観測結果は、第Ⅷ期一般研究観測「変動環境下における南極陸上生態系の多様性と物質循環」の立ち上げに貢献した。

**この成果に関係する主要な論文:**

Kurosawa, N., Sato, S., Kawarabayashi, Y., Imura, S. and Naganuma, T., 2010. Archaeal and bacterial community structures in the anoxic sediment of Antarctic meromictic lake Nurume-Ike. *Polar Science* 4: 421-429.

成層した塩湖である「ぬるめ池」の、無酸素条件にある堆積物中の古細菌および細菌の群集構造を解析した。その結果、これまでに知られていないレベルの多様な生物相が見いだされた。

モニタリング研究観測	M-1	研究代表者: 山岸 久雄
------------	-----	--------------

## 宙空圏変動のモニタリング

### 観測の目的:

極域宙空圏に発生するオーロラや、それに伴う地磁気変化、電離層電波吸収、電磁波動などの現象を長期にわたりモニターすることにより、太陽から地球に降り注ぐ電磁放射、高エネルギー粒子、太陽風が作り上げる地球周囲(磁気圏・電離圏)の電磁環境が、太陽活動と共にどのように変動しているか調べることを目的とする。具体的には、以下の観測を継続的に行ない、長期変動を分析する。

1. 全天カメラによるオーロラ形態、発光強度の観測
2. 掃天フォトメータによるオーロラ強度分布の観測
3. リオメータ・イメージングリオメータによるオーロラ降下粒子の観測
4. 地磁気絶対観測
5. フラックスゲート磁力計による地磁気3成分変化観測
6. インダクション磁力計によるULF帯電磁波動観測
7. ELF/VLF帯電磁波動観測

### 実績・成果:

1. 2. 3波長(557.7, 630.0, 427.8nm)フィルター切り替え全天CCD単色カメラによる波長別オーロラ形態の全天分布の観測と、多波長掃天フォトメータによる電子オーロラとプロトンオーロラの緯度方向強度分布の観測を順調に行い、太陽活動極小期におけるオーロラ活動のモニタリング観測を行うことが出来た。2009年には掃天フォトメータの更新を行い、あらかじめ設定したスケジュールに従った自動運用が行われるようになった。

3. リオメータ・イメージングリオメータは、光でのオーロラ観測が不可能な夏期でもオーロラ降下粒子を観測できる利点を生かし、通年にわたるオーロラ降下粒子束の変動をモニターするとともに、アイスランドでのイメージングリオメータ観測と併せ、オーロラ降下粒子の南北極共役性のモニターを行った。第Ⅶ期の期間、昭和基地には30.0MHzと38.2MHzの2周波のイメージングリオメータが設置され、2周波での吸収強度比(吸収スペクトル指数)が算出された。太陽プロトンイベント時には、吸収スペクトル指数が通常値の2よりも小さくなることが確認され、10MeV帯の太陽プロトンが昭和基地上空に多量に降込み、電離層D層よりも下方の大気を電離したことが推定された(図1)。

4. プロトン磁力計とフラックスゲート型磁気儀による地磁気絶対観測を毎月1回の頻度で継続して順調に行った。2007年には、測定したデータを自動処理するソフトを整備した。2009年には、観測に及ぼす人工擾乱の影響を評価するために、観測室の周囲の広域多点において磁気測量を行い、磁気傾度の広域分布などを明らかにした(図2)。1966年より続く長期モニタリング

Solar Proton Event on Jan 17-20, 2005

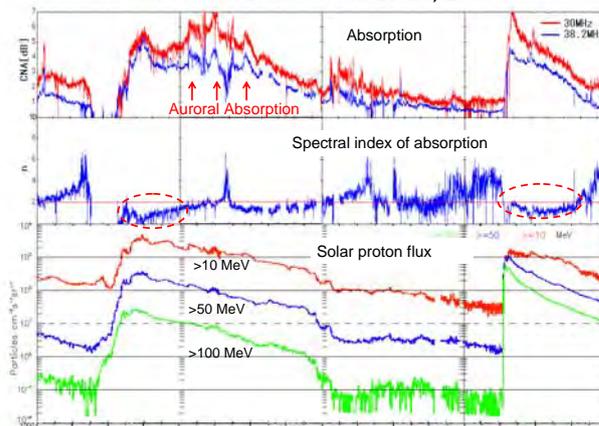


図1 太陽プロトン現象時の電離層吸収スペクトル指数。プロトンフラックス増大時に、スペクトル指数が通常値の2よりも小さくなり、高エネルギー粒子による低高度大気の電離が推測される。

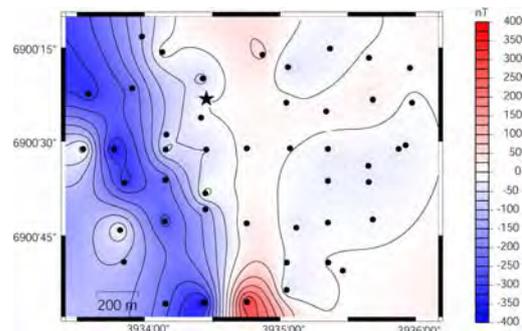


図2 昭和基地地磁気観測室周辺の磁気傾度分布

データにより、昭和基地における全磁力の減少速度が徐々にゆるやかになってきていることなどが示されている(図3)。測定されたデータは英国の地磁気データセンターに送付され、IGRFモデル磁場の算出に使用されている。

5. 3軸のフラックスゲート磁力計による地磁気変化連続観測を順調に行った。毎月1回の頻度での校正信号入力を行い。地磁気絶対観測時には、ベースライン値の算出を行った。2007年と2009年にはアライメント調整を行った。2007年にはK指数を自動算出するプログラムを整備した。1966年からのK指数データの解析からオーロラ活動の長期変動の研究が行われ、総合研究大学院大学の学位論文としてまとめられた。

6. 7. 電磁雑音が極めて少ない西オングル島で、磁気圏からの微弱なULF/ELF/VLF帯の電磁波動を良好な感度で安定に受信した。受信信号の絶対強度を定めるため、毎年1回、受信系感度の較正が行われた。これらのデータから磁気圏電磁波動強度の長期変動を知ることができるが、特に第Ⅶ期の観測データは太陽活動極小期の特徴を示したものとなっている。

これらの観測を無人の西オングル島で続けるためには、自然エネルギー電源による電力供給が必要になる。第Ⅶ期では、従来用いられてきた太陽電池のほか、風力発電装置を試験的に運用し、通年にわたり人手を介さず電力供給が可能であることを実証した(図4)。

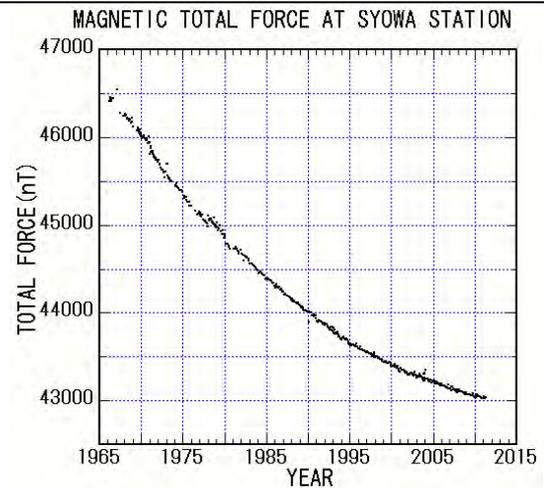


図3 1966年以降の昭和基地における全磁力の経年変化。減少速度が徐々にゆるやかになってきている。



図4 西オングル島に設置された風力発電装置。通年にわたり数10ワットの電力供給が可能なが実証された。

**観測の実績・成果が計画に照らしてどの程度得られたか:**

- 計画通りの観測の実績・成果を得た。
- ほぼ計画通りで、十分な観測の実績・成果を得た。
- 機器の不良等があったため、観測の実績・成果が不十分であった。
- 天候等不可抗力による理由で、観測の実績・成果が不十分であった。

**上記の判断をした理由**

宙空圏観測は項目が多く、夜勤も必要で、極夜期には毎月、西オングル島へ一泊の充電旅行が必要など、隊員の負担が多いとの自己評価があった。これを改善することがⅦ期モニタリング観測の一つの課題であった。具体的な改善策として、オーロラ光学観測では自動観測プログラムを採り入れた結果、夜勤作業は観測の開始と終了時のみが必要で、観測中は適宜、休養をとることが可能となり、隊員の負担が大幅に軽減された。また、西オングル島に風力発電を利用した電源システムを導入し、試験運転を続けた結果、安定した電力供給の見通しが立った。Ⅶ期前半中に、この電源システムへ移行することにより、冬期の充電旅行は不要になり、隊員の負担が大幅に減る見込みである。

モニタリング観測データの利用面でも、良い成果が得られた。総研大生の一人が昭和基地の地磁気長期観測データに取り組み、地磁気活動度が春秋期に高くなる理由をうまく説明するなど、学位論文にまとめることができ

た。また、特別共同利用研究員であった金沢大学の大学院生はVLF自然電波の電離層透過と地上での強度分布について、昭和基地のVLF観測を活用した解析を進め、学位論文にまとめるとともに、3編の論文がPolar Science, 南極資料に採録された。

#### データ公開の状況:

「宙空圏変動のモニタリング」の全データは、以下の大学間連携プロジェクトのホームページで一般公開されている。

<http://polaris.nipr.ac.jp/~iugonet/>

オーロラ、イメージングリオメータ以外のデータについては、下記のホームページで、任意のデータの組み合わせ、任意の時間スケールでグラフ表示を得ることができる。

[http://polaris.nipr.ac.jp/~uap-mon/uapm/uapm\\_new\\_top.html](http://polaris.nipr.ac.jp/~uap-mon/uapm/uapm_new_top.html)

#### 観測によって得られたデータ等により国際的にどの程度貢献できたのか:

- ・ 昭和基地地磁気データはIGRF地磁気モデルの作成に貢献
- ・ リオメータ、イメージングリオメータデータは国際リオメータネットワークGLORIAに貢献

#### 観測によって得られたデータ等が他の研究にどの程度影響を与えたのか:

昭和基地は南半球オーロラ帯の代表的な観測点であり、そのオーロラ観測データは衛星オーロラ観測のGround truthとして重要視されている。また、昭和基地ーアイスランドは世界で最も優れた地磁気共役観測点ペアを成していることから、昭和基地オーロラ観測データは、共役オーロラの事例研究対象として活用されている。特にパルセーティングオーロラの周期が共役点で一致していない事実は、パルセーティングオーロラの生成機構を考える上で重要なポイントとなっている。

#### この成果に関係する主要な論文:

1. Localization of VLF ionospheric exit point by comparison of multipoint ground-based observation with full-wave analysis, Ozaki, M., S. Yagitani, I. Nagano, Y. Hata, H. Yamagishi, N. Sato, A. Kadokura, Polar Sci., Vol.2, No.2, 237-249, 2008.
2. Estimation of enhanced electron density in the lower ionosphere using correlation between natural VLF emission intensity and CNA, Ozaki, M., S. Yagitani, I. Nagano, H. Yamagishi, N. Sato, A. Kadokura, Antarctic Record, Vol. 53, No.2, 123-135, 2009.
3. Simultaneous ground-based and satellite observations of natural VLF waves in Antarctica: A case study of downward ionospheric penetration of whistler-mode waves, Ozaki, M., S. Yagitani, I. Nagano, Y. Kasahara, H. Yamagishi, N. Sato, A. Kadokura, Polar Sci., Vol.4, No.3, 431-441, 2010.
4. 地磁気活動の季節変化と長期変化、吉田明夫、総合研究大学院大学博士論文、2008年度.